

ZONIFICACION AGROECOLOGICA DEL LUPINO BLANCO (*Lupinus albus* L.) PARA LA PROVINCIA DE CÓRDOBA (ARGENTINA)

A. C. RAVELO¹ ², ANA M. PLANCHUELO^{1,2} y R. ZANVETTOR²

Recibido: 10/08/99

Aceptado: 20/10/99

RESUMEN

Se determinó la aptitud agroecológica de la Provincia de Córdoba para el lupino blanco (*Lupinus albus* L.) sobre la base de la valoración de los recursos climáticos y edáficos del territorio provincial. Fueron analizadas las disponibilidades térmicas, con relación a las temperaturas mínimas vernalizantes y la fluctuación de las deficiencias hídricas de suelo durante el ciclo del cultivo en diferentes localidades. Además se consideraron los subgrupos dominantes de las unidades edáficas de la cartografía de suelos y mediante la utilización de un sistema de información geográfica se categorizaron seis zonas potencialmente aptas para el cultivo de lupino blanco. Sobre la base del comportamiento de variedades mejoradas se recomiendan las zonas adecuadas para cada cultivar.

Palabras clave: zonificación agroecológica, lupino blanco, *Lupinus albus*.

AGROECOLOGICAL ZONING OF WHITE LUPIN (*Lupinus albus* L.) PARA LA PROVINCIA DE CÓRDOBA (ARGENTINA)

SUMMARY

The agro-ecological conditions for white lupin (*Lupinus albus* L.) are assessed considering the climate and soil resources of Córdoba, a central province of Argentina. The temperature regime for vernalization and the soil water deficits during the crop cycle were analyzed in conjunction with major soil groups from soil maps. Using a geographic information system six cropping areas were classified as potentially suitable for white lupin. Based on improved varieties responses, appropriate cultivation zones are recommended for each cultivar.

Key words: agro-ecological zoning, white lupin crop, *Lupinus albus*.

INTRODUCCION

Las áreas geográficas de los cultivos están demarcadas por las aptitudes agroecológicas de los territorios para satisfacer las necesidades de producción y por situaciones climáticas o edáficas límites, ya sea, por insuficiencia o por exceso de los requerimientos de la especie o variedad en cuestión.

Cada cultivo tiene exigencias biometeorológicas y edáficas que deben ser satisfechas para que se cumplan los procesos fásicos de su ciclo evolu-

tivo. Por lo tanto, antes de la implantación de un cultivo en una zona agrícola es necesario determinar la aptitud agroecológica de esa zona para ese cultivo. Dicha aptitud se establece confrontando las exigencias bioclimáticas del cultivo con los recursos ecológicos del área (Pascual *et al.*, 1988).

De acuerdo a Planchuelo-Ravelo y Ravelo (1988), von Baer (1990) y Planchuelo (1998), las variedades mejoradas de lupino blanco (*Lupinus albus* L.) se desarrollan satisfactoriamente en suelos francos y franco-arenosos cuyo pH oscile

¹ Miembro de la Carrera del Investigador Científico del CONICET.

² Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba. Casilla de Correo 509, 5000 Córdoba, Argentina.

entre 4,6 y 7,0 y en climas con temperaturas mínimas entre 3 y 10° C y temperaturas máxima entre 17 y 34° C, y una precipitación entre 344 y 700 mm anuales. Sus exigencias bioclimáticas corresponden principalmente a los requerimientos foto-térmicos, de vernalización e hídricos, según lo establecen los siguientes autores. Reeves *et al.*, (1977) determinaron que la ocurrencia de las fases fenológicas están correlacionadas positivamente con las condiciones foto-térmicas durante los subperiodos emergencia-iniciación de floración, y negativamente durante el subperiodo primera flor abierta-última flor abierta. Goldstein (1984), teniendo en cuenta dichos requerimientos, hace una clasificación de variedades en tres categorías principales: invernales, semi-invernales y primaverales. Vavilov y Gataulina (1984), clasificaron tres biotipos primaverales en: tempranos, medios y de maduración tardía, de acuerdo a su ramificación y duración del ciclo. En un trabajo relacionado con la productividad del cultivo, Sylvester-Bradley (1979) estableció que los dos factores más importantes para un buen rendimiento son, las temperaturas primaverales y las condiciones de humedad durante la floración, concluyendo que las plantas vernalizadas poseen muy poca ramificación y como consecuencia su rendimiento es menor. Williams y Brocklehurst (1983), describieron el efecto de la vernalización y el fotoperíodo en variedades invernales, intermedias y primaverales con el objeto de efectuar una mejor selección genética de variedades que se adapten a los ciclos primaverales cortos de zonas frías, en altas latitudes, mientras que Clapham *et al.* (1991), profundizaron los estudios describiendo la termosensibilidad de variantes genéticas de un cultivar de lupino blanco. Por otro lado, Putman *et al.*, (1993) evaluaron la eficiencia del riego en relación a los rendimientos y establecen que la irrigación incrementa: el número vainas en el eje principal y las ramas secundarias, el número de semillas por vainas y el peso unitario de las semillas. Teniendo en cuenta estos antecedentes y los resultados obtenidos en los ensayos experimentales conducidos mediante la metodología de Planchuelo-Ravelo (1989) en varias localidades

cordobesas (Ravelo y Planchuelo-Ravelo, 1987, Ravelo y Planchuelo, 1996; Ravelo *et al.*, 1997), se pudieron identificar las exigencias bioclimáticas del cultivo de lupino blanco y establecer las bases de la zonificación agroecológica de la provincia.

El cultivo del lupino blanco tiene un gran potencial de expansión en toda el área triguera, del sur y centro de la provincia de Córdoba, siempre y cuando se logre adaptar o mejorar variedades dulces a las condiciones agro-ecológicas reinantes. Por otro lado, los lupinos pueden dar rentabilidad a áreas marginales de suelos arenosos en donde no es posible realizar otros cultivos. Asimismo, siendo los lupinos cultivos invernales, pueden ser una interesante alternativa para áreas que han incorporado instalaciones de riego para cultivos estivales, de forma de utilizar el equipamiento disponible en épocas de descanso de los lotes. Por lo tanto, la incorporación de los lupinos en las rotaciones de áreas irrigadas permitiría amortizar más rápidamente los gastos de instalación del sistema de riego.

Para determinar la aptitud agroecológica de la provincia de Córdoba para el cultivo de lupinos blancos se evaluaron los recursos existentes, de clima y suelo, utilizando la metodología de zonificación agroclimática desarrollada por Pascale (1969), Pascale y Ravelo (1989) y Pascale *et al.*, (1995) para el cultivo de la soja. Como resultado se presenta una zonificación agroecológica, en donde se delimitan seis zonas de diferentes aptitudes para el cultivo del lupino blanco en la provincia de Córdoba y se realizan recomendaciones sobre posibles variedades cultivables en cada zona.

MATERIALES Y METODOS

Los recursos agroecológicos de la provincia de Córdoba fueron evaluados sobre la base de los resultados obtenidos por Ravelo *et al.*, (1997) complementados con el análisis de las disponibilidades térmicas y de deficiencias hídricas de otras localidades y la incorporación de las variables edáficas de las cartas de suelo.

Las variedades mejoradas consideradas para establecer la viabilidad de cultivo del lupino blanco fueron las siguientes: Amiga, La57-4, Lublanc, Lucky y Laima de Florimond Desprez de Francia; L 2040, L 2043, L 2053 y L 2085 producidas por Resource Seeds Inc. de

California, Estados Unidos y las variedades Rumbo y Lolita originarias del semillero von Baer de Temuco, Chile. Sobre la base del comportamiento de dichas variedades en ensayos experimentales (Ravelo y Planchuelo-Ravelo, 1987, Ravelo y Planchuelo, 1996; Ravelo *et al.*, 1997), se estableció un coeficiente de precocidad (Ravelo y Planchuelo-Ravelo, 1987) en una escala de 1 a 9. El valor de 1 corresponde a las variedades muy precoces, de siembra invierno-primaveral, sin requerimientos de vernalización y sensibles a heladas, mientras que el 9 corresponde a las variedades de ciclo largo o muy tardías, de siembra otoño-invernal, con elevados requerimientos de vernalización y resistencia a heladas. Los coeficientes de precocidad, según el ciclo de cultivo y los rendimientos promedios con y sin riego de las variedades consideradas se detallan en el cuadro N° 1.

Cuadro N° 1. Características de precocidad y productividad de las variedades consideradas.

Variedades	Coeficiente de Precocidad	Rendimientos promedios (t/ha)	
		Secano	Riego
Lucky	7,5	1,7	2,1
Rumbo	6,5	1,3	2,5
La57-4	6,0	2,3	2,7
L 2085	6	1,4	2,9
L 2043	5,5	0,8	2,5
Lublane	5,5	2,1	-
L 2053	5,5	1,8	2,7
L 2040	5	0,9	1,7
Amiga	4	2,2	3,1
Prima	3,5	1,5	2,1
Lolita	3	1,6	2,8

Los datos meteorológicos utilizados para el análisis de las disponibilidades termo-hídricas fueron obtenidos de las estaciones meteorológicas indicadas en el cuadro N° 2 que se encuentran en las provincias de Córdoba y Santa Fé (figura 4). Las variables consideradas fueron las precipitaciones mensuales y las temperaturas mínimas medias mensuales correspondientes al período 1970-96.

La acumulación de bajas temperaturas requeridas para satisfacer las exigencias de vernalización, se calculó mediante la metodología de Damario (1969) y la reciente actualización de Damario y Pascale (1995). Las horas de vernalización contabilizadas fueron aquellas en las cuales la temperatura fue de 7 °C, o inferior, durante el período emergencia-floración y para las cuales se estableció el umbral mínimo de 450 horas para las variedades de ciclo otoño-invernal (Clapham *et al.*, 1994).

Se calculó la evapotranspiración potencial (ETP) por el método de Penman (1948) y la evapotranspiración real (ETR) a través del balance hidrológico mensual según el método de Palmer (1965) en cada una de las localidades consideradas. La deficiencia hídrica mensual fue definida como: Deficiencia (mm) = ETP - ETR.

Las deficiencias hídricas mensuales fueron acumuladas para el ciclo del cultivo (abril-noviembre) en cada año de la serie meteorológica utilizada. Con las deficiencias acumuladas se calculó la deficiencia media, la cual fue usada para el trazado de las isolíneas en un mapa de la provincia de Córdoba. Los umbrales de deficiencia crítica de -100 y -150 mm para el cultivo de lupino se ajustan a lo establecido por Meronuck *et al.*, (1991); Putnam *et al.*, (1992); Putnam, (1993).

Las características edáficas del área en estudio fueron obtenidas del Atlas de Suelos de la República Argentina (INTA, 1997). Se extrajeron todas las unidades de suelo con textura franca o franco-arenosa me-

Cuadro N° 2. Localidades utilizadas para el análisis de las disponibilidades termo-hídricas

Localidades	Latitud S	Longitud W	Elevación snm (m)
Ceres (CE)	29°53'	61° 57'	88
Córdoba (CO)	31°19'	64° 13'	425
Huinca Renancó (HR)	34°50'	64° 22'	181
Laboulaye (LA)	34°08'	63° 22'	137
Manfredi (MA)	31°49'	63° 46'	292
Marcos Juárez (MJ)	32°41'	62° 07'	110
Río Cuarto (RC)	33°07'	64° 14'	421
Pilar (PI)	31°40'	63° 53'	338
Villa Dolores (VD)	31° 57'	65° 08'	569
Villa M. Río Seco (VM)	29° 54'	63° 41'	341

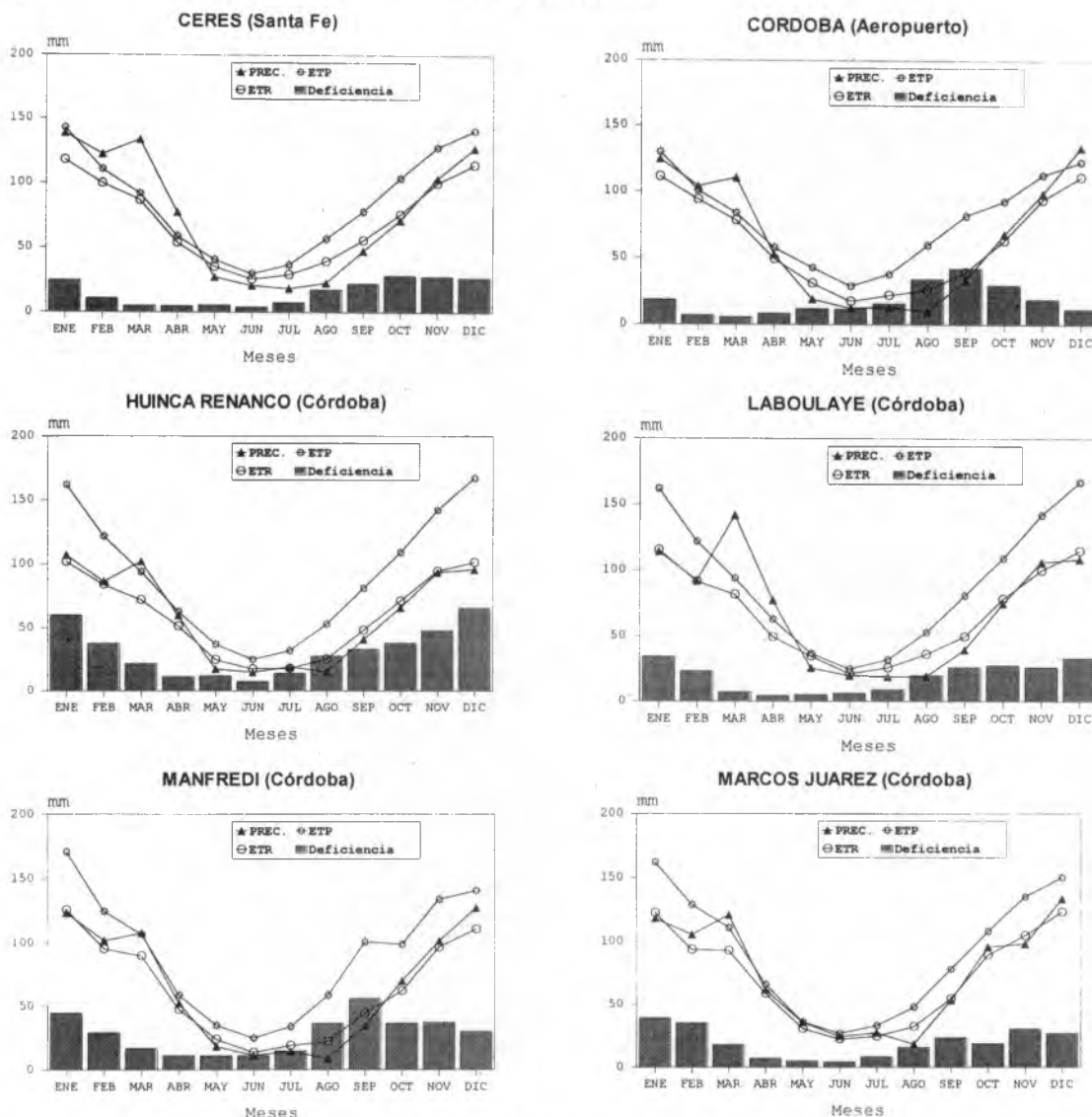


Figura 1. Balances hidrológicos de las localidades consideradas.

diente una técnica denominada de disolución provista por el programa de computación ARC/CAD 11,5 que permite desagregar todos los polígonos que poseen el mismo atributo. Posteriormente, la información cartográfica fue procesada con el programa AutoCad Map R1 para las operaciones de análisis espacial.

La digitalización de las variables horas de vernalización y deficiencia hídrica y su representación cartográfica se llevó a cabo en Autodesk AutoCAD R12. La superposición de la información cartográfica de variables meteorológicas y de suelo se efectuó con AutoCAD Map R1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La figura 1 presenta los resultados de los balances hídricos climáticos de localidades representativas de la provincia de Córdoba y Santa Fe. Resulta evidente la escasez de lluvias durante los meses de mayo a agosto, en concordancia con el desarrollo vegetativo del lupino. Las precipitaciones aumentan a partir de agosto pero también se incrementan las deficiencias hídricas por una mayor evapotranspiración potencial.

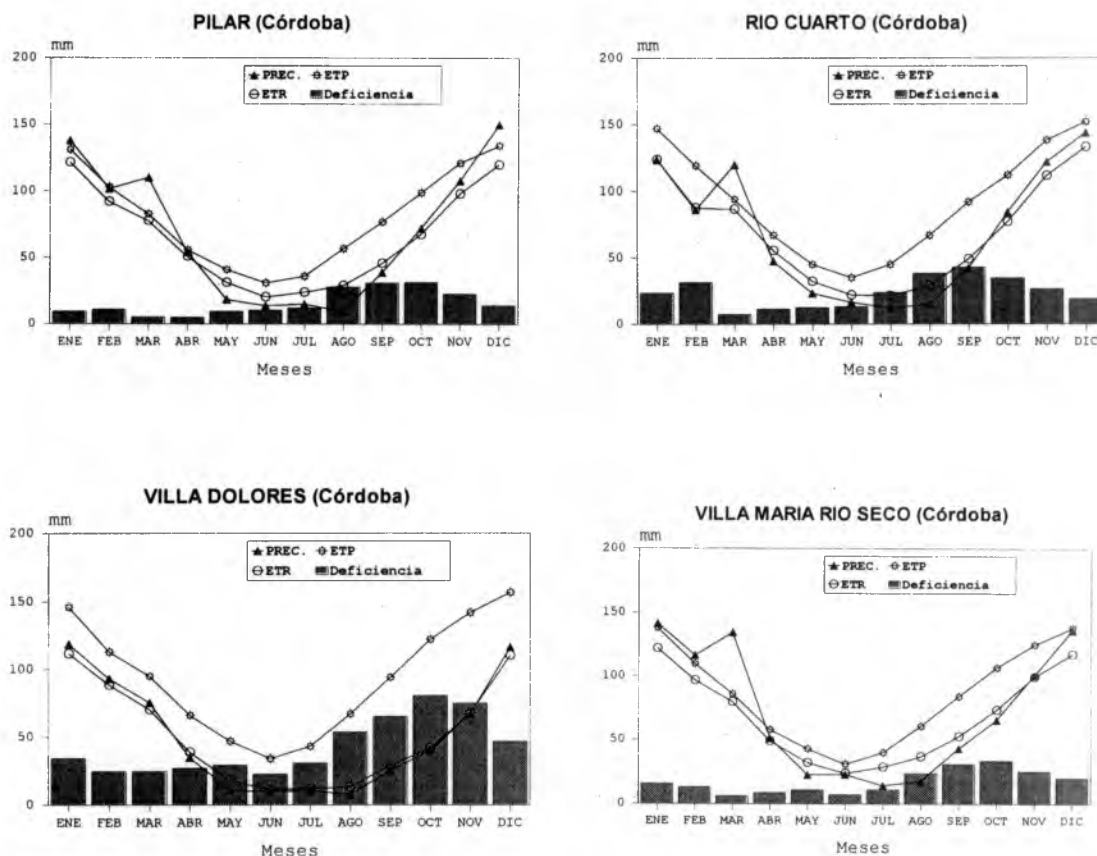


Figura 1. continuación

Mediante la operación de disolución de los polígonos del mapa original de suelos (figura 2) se logró el mapa con las áreas de suelos francos o franco-arenosos (figura 3). La representación cartográfica de las isolíneas para la deficiencia hídrica y la disponibilidad de horas con temperaturas vernalizantes a partir de los valores estimados, para las localidades en estudio se presentan en la figura 4. A su vez, la consideración de la deficiencia hídrica demarcó las áreas donde el cultivo puede prosperar en secano, con riego complementario o con riego integral (figura 4). Las áreas al este de la provincia con una deficiencia inferior a los -100 mm pueden clasificarse como aptas para el cultivo en secano, mientras que las áreas centra-

les con deficiencias entre -100 y -150 mm requieren riego complementario y las del oeste que tienen una deficiencia mayor de -150 mm deben tener un sistema de riego integral. Esta situación circunscribe el desarrollo del cultivo del lupino en secano a una pequeña franja al este de la provincia que abarca parcialmente a los departamentos de Marcos Juárez y San Justo. La superposición de las figuras 3 y 4 permitió obtener el mapa de aptitud edafo-climática para el cultivo del lupino (figura 5) en donde se indican con color amarillo las zonas edaficamente aptas. Las isolíneas de los parámetros agroclimáticos considerados delimitan seis áreas con diferentes aptitudes para el cultivo del lupino.

Cuadro N° 3. Aptitud de las zonas agroecológicas en relación a las características de precocidad de variedades recomendadas de lupinos.

Zonas Agroecológicas	Aptitud térmica	Aptitud hídrica	Coefficientes de Precocidad	Epoca de siembra
A	Aptas para siembras tempranas	Aptas en secano	> 5	Otoño-invernal
	Aptas para siembras tardías	Aptas en secano	3 a 5	Inverno-primaveral
B	Aptas para siembras tempranas	Aptas con riego complementario	5,5 a 7,5	Otoño-invernal
	Aptas para siembras tardías	Aptas con riego complementario	3 a 5	Inverno-primaveral
C	Aptas para siembras tempranas	Aptas con riego integral	> 6	Otoño-invernal
	Aptas para siembras tardías	Aptas con riego integral	3 a 4	Inverno-primaveral
A'	Aptas para siembras tardías	Aptas en secano	< 4	Inverno-primaveral
B'	Aptas para siembras tardías	Aptas con riego complementario	< 4	Inverno-primaveral
C'	Aptas para siembras tardías	Aptas con riego integral	< 4	Inverno-primaveral

Los resultados de la zonificación agroecológica (figura 6) muestran que sólo una pequeña porción al este del territorio provincial con suelos francos o franco-arenosos permite el cultivo bajos condiciones de secano, mientras que las deficiencias hídricas durante subperíodos críticos del desarrollo del cultivo determinan la necesidad de riegos complementarios o integrales en una amplia zona agrícola del centro y oeste de la provincia para el logro de rendimientos apropiados.

La mejor zona para el cultivo es la Zona A, que cuenta con una buena distribución de humedad edáfica para siembras tempranas (abril-mayo) de cultivos en secano de las variedades con coeficientes de precocidad mayores a 5 y es apta también para siembras tardías (julio-agosto) de variedades precoces con coeficientes de 5 ó menores. La Zona B es térmicamente apta para variedades otoño-

primaverales con coeficientes de 5,5 a 7,5 pero el cultivo debe contar con riego complementario en épocas deficitarias de lluvias para obtener rendimientos aceptables, por lo tanto, se recomiendan sólo aquellas variedades de ciclo largo que responden positivamente a los riegos complementarios. La Zona C, es apta únicamente para variedades de ciclo largo resistentes a heladas con coeficientes de precocidad de 6, o mayor, y siembras tardías de variedades de ciclo corto (coeficiente de precocidad 3-4, mientras que, la ineptitud zonal por la falta de disponibilidad de agua, la transforman en una zona apta únicamente si cuenta con una irrigación adecuada durante todo el ciclo del cultivo.

La aptitud agroecológica de las zonas A', B' y C' es calificada como apta para variedades de ciclo corto (coeficiente de precocidad de 4 o menores) de



Figura 2: Unidades de suelo.

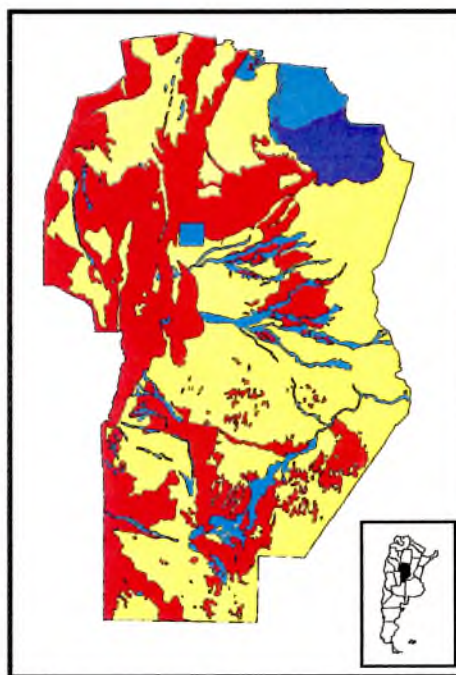


Figura 3: Zonas con suelos francos o franco-arenosos (amarillos), otros tipos de textura (rojos) y agua o sin datos (azul-celeste).

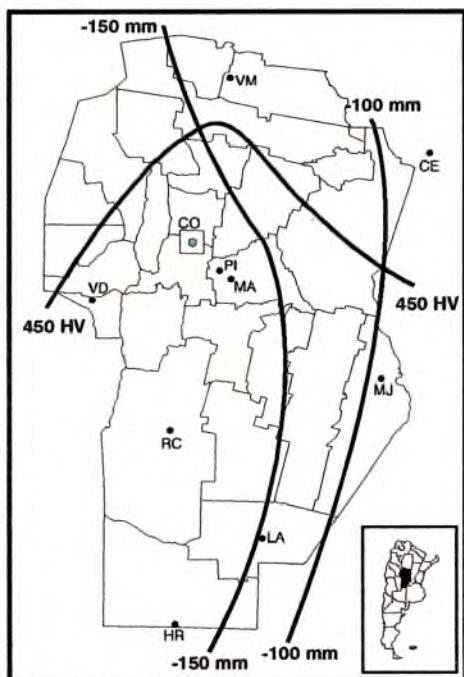


Figura 4: Isolíneas de deficiencia hídrica en milímetros (mm) y horas de vernalización (HV).

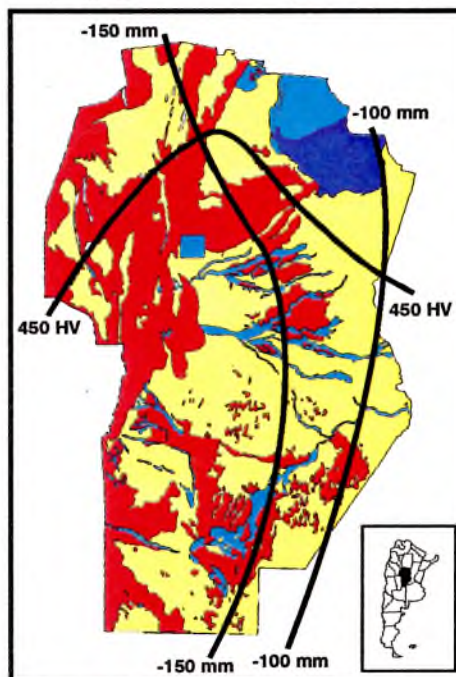


Figura 5: Zonas de aptitud edafo-climáticas adecuadas (amarillas) para el cultivo del lupino blanco.

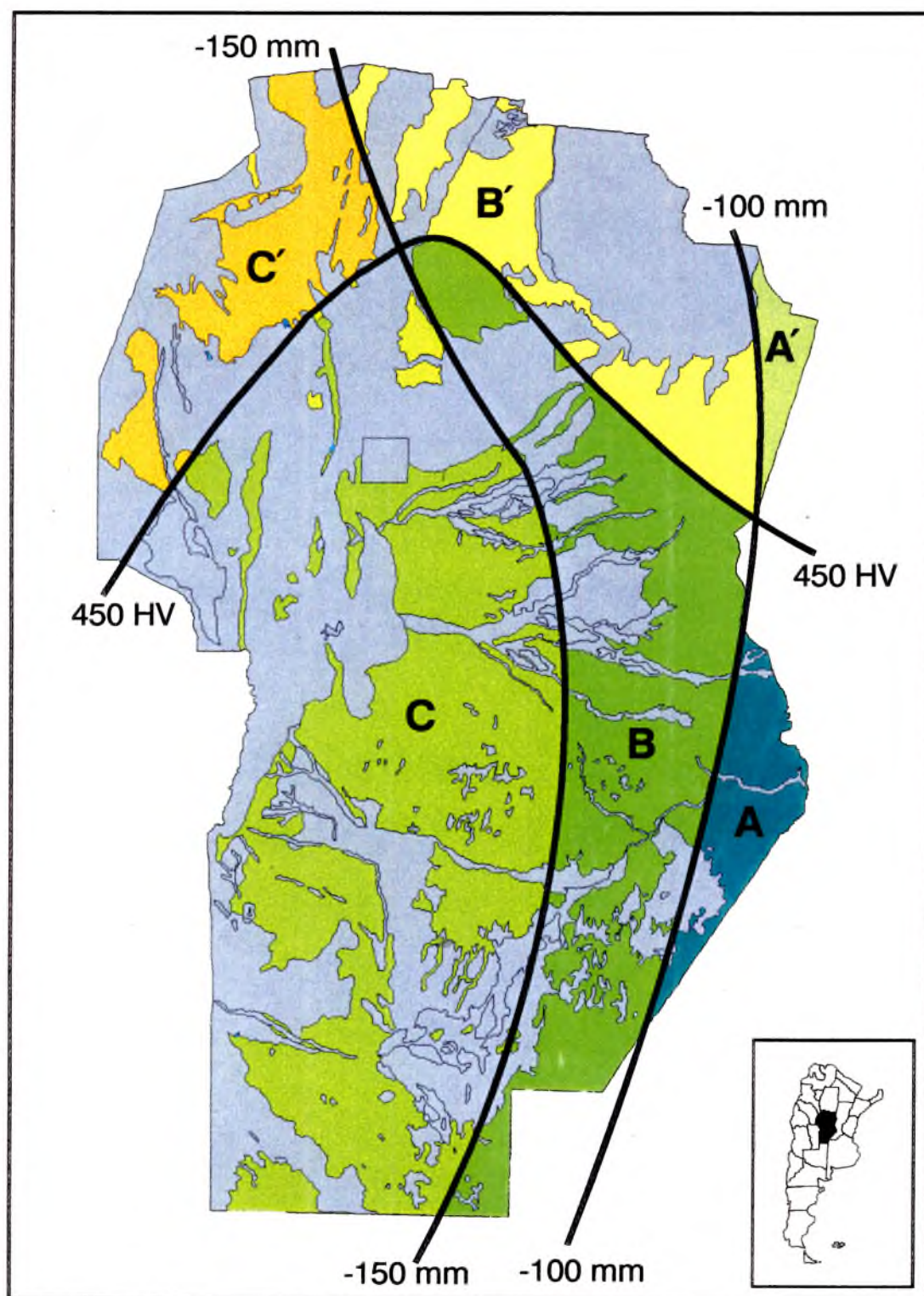


Figura 6: Zonificación agroecológica del lupino blanco según sus requerimientos edáficos y termo-hídricos (Ver Cuadro 3 para las referencias de cada zona. Las áreas grises corresponden a zonas no aptas para el cultivo del lupino).

siembra invierno-primaveral pero no apta térmicamente para variedades de ciclo largo por disponer de menos de 450 HV. En el extremo nororiental de la provincia, la Zona A' cuenta con capacidad hídrica como para cultivar lupino en secano mientras que las zonas B' y C' son aptas únicamente con riegos complementarios o integrales, respectivamente.

Según las aptitudes de las áreas agrícolas y los balances hidrológicos de cada zona se puede planificar la época de siembra de los distintos tipos de variedades. Por ejemplo, las variedades con coeficientes mayores a 4 se pueden sembrar a partir del 15 de abril y hasta principios de junio, aprovechando la humedad adecuada del suelo debido a las lluvias otoñales. Mientras que la fecha óptima de siembra para las variedades con coeficientes menores a 4, se ubica a partir del 15 de julio para evitar los daños por heladas tardías. El cuadro N° 3 resume las características de cada zona y los tipos de variedades recomendables, según las características de precocidad y los tipos de siembra y manejo del cultivo.

CONCLUSIONES

La información sobre las disponibilidades hídricas y térmicas de la provincia de Córdoba ha permitido distinguir seis zonas con diferentes aptitudes para el cultivo del lupino blanco.

Puede apreciarse que bajo condiciones de cultivo en secano, el lupino puede cultivarse en aproximadamente 850 mil hectáreas mientras que con la utilización del riego, la perspectiva de expansión de esta leguminosa invernal puede superar los tres millones de hectáreas. El reciente incremento en el número de equipos de riego en la región semiárida de Córdoba para cultivos estivales, abre una ventana de oportunidad para el cultivo de lupinos con irrigación invernal.

AGRADECIMIENTOS

A los Ings. Raúl Vidal, Alfredo Santa y Laura de Salvo por el procesamiento digital de la carta de suelos. A las instituciones que financiaron parcialmente este trabajo (FONCYT, CONICOR, SECYT/UNC)

BIBLIOGRAFÍA

- CLAPHAM, W.M., S.L. BARNES and C.J. CROSBY, 1991. Thermosensitivity in white lupin. *Proc. 6th Inter. Lupin Conf.* 307-310. Temuco, Chile.
- CLAPHAM, W. M.; E. J. SAWINCKA and R. MURANYI, 1994. Variation and thermosensitivity in seven mutants of *Lupinus albus*, cv. "Hetman". In, Neves Martins & Beirao da Costa, *Adv. Lupin Res.* :365-370. ISA, Lisboa.
- DAMARIO, E. A., 1969. Carta estimada de horas de frío de la República Argentina. *Rev. de la Fac. de Agron. y Vet. de Bs.As.*, 17(2):25-38.
- DAMARIO, E. A. y A.J. PASCALE, 1995. Nueva carta agroclimática de horas de frío en la Argentina. *Rev. Fac. Agronomía*, 15(2-3):219-225.
- GOLDSTEIN, W., 1984. Growth type of white lupin and their suitability for cropping in the Pacific Northwest USA. *Proc. 3rd Inter. Conf.* 558-559. La Rochelle, Francia.
- INTA, 1997. Atlas de Suelos de la República Argentina en CD. Producido por Aeroterra SA.
- MERONUCK R.A., H. MEREDITH and D.H. PUTNAM., 1991. Lupin production and utilization guide. Center for alternative plant and animal products. University of Minnesota, St. Paul. 27 pags.
- PALMER, WAYNE C., 1965. Meteorological drought. U.S. Weather Bureau, Washington D.C. *Research Paper* No 45, 58 pp.
- PASCALE, A.J. 1969. Tipos Agroclimáticos para el cultivo de la soja en la Argentina. *Rev. de la Fac. Agr. y Vet. de Buenos Aires.*, 17 (3):31-48.
- PASCALE, A.J., L. MEJIA, A. M. PLANCHUELO-RAVELO y O. ROVERE, 1988. Zonificación agroecológica de la región costera para cultivos no tradicionales para exportación. Edit. Fundación Ciencia, 170 pp., ilust. Ecuador.

- PASCALE, A.J., E.A. DAMARIO y C.R.O. MIACZYNSKI, 1995. Zonificación ecológica de la región oriental argentina para el cultivo de la soja. Primer Congreso Nacional de Soja, Pergamino, Argentina -Cap. II Manejo y Producción- *Actas* 1:24-33.
- PASCALE, A.J. and A. C. RAVELO 1989. Agroclimatic types of soybean. *J. of Foreign Agric. Sci.* 1:1-9
- PENMAN, H.L., 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Meteor. Royal Soc., London Proc. Ser. A.* 193:120-146.
- PLANCHUELO-RAVELO, A. M. y A. C. RAVELO, 1988. Lupinos, un cultivo con futuro. *Bol. Divulg.* 1, Sec. C. y Tecnología. 21 págs. Argentina.
- PLANCHUELO-RAVELO, A. M. 1989. Sistema de observaciones fenológicas y fenométricas para la calibración de modelos fisiológicos de rendimiento. *Revista Fac. Agronomía*, 9 (1-2): 99-108. Argentina.
- PUTNAM, D.H., J. WRIGHT, L.A. FIELD and K.K. AYISI, 1992. Seed yield and water-use efficiency of white lupin as influenced by irrigation, row spacing and weeds. *Agron. J.* 84:557-563.
- PUTNAM, D.H., 1993. An interdisciplinary approach to the development of lupin as an alternative crop. Pag. 266-278. John Wiley and Sons, N.Y., 710 pags.
- PUTNAM, D.H., S.R. SIMMONS and L. HARDMAN, 1993. Vernalization and seeding date effects on yield and yield components of white lupin. *Crop Sci.* (33):1076-1083.
- RAVELO, A. C. y A. M. PLANCHUELO-RAVELO, 1987. Lupifen: Un modelo fenológico para el lupino blanco (*Lupinus albus* L.). *III Reun. Argent. Agrometeor.*: 75-84.
- RAVELO, A.C. y A.M. PLANCHUELO, 1996. Lupifen II: Un modelo fenológico para lupino blanco (*Lupinus albus* L.). *Rev. Facultad de Agronomía*, 16(1-2):89-97.
- RAVELO, A.C., A.M. PLANCHUELO y R. ZANVETTOR, 1997. Aptitud agroclimática de la provincia de Córdoba para el cultivo del lupino blanco (*Lupinus albus*, L.). *Actas VIII Reunión Argentina y I Latinoamericana de Agrometeorología*, Buenos Aires, Abril de 1997, 97-98.
- REEVES, T.G., K.A. BOUNDY and H.D. BROOKE, 1977. Phenological development studies with *Lupinus angustifolius* and *L. albus* in Victoria, Australia. *aust.J. Exp. Agric. and animal Husb.* 17:637-644.
- SYLVESTER-BRADLEY, R., 1979. Lupins are more affected by Weather than most crops. *Arable farming*: 60-65.
- VAVILOV, P.P. and G.G. GATAULINA, 1984. Growth and development pattern of different spring forms of *Lupinus albus*. *Proc. 3rd. Int. Conf.*:562-565, La Rochelle, Francia.
- von BAER, E. 1990. 1^a Ed. Lupino. Guía de producción y utilización. Asociación Chilena del Lupino, Temuco, Chile. 19 pp.
- WILLIAMS W. and S. K. BROCKLEHURST. 1983. Environmental factors affecting plant development in *Lupinus albus*: The effect of chilling and photoperiod during seedling development of flowering. *In* R. Thompson and R. Casey. Perspectives for peas and lupins as protein crops:59-71. Martinus Nijhoff Publishers. The Hague.